

Influência da iluminação LED no desempenho fotossintético e na produtividade de *Fragaria* × *ananassa* em substrato

F. Pestana¹, J.N.Semedo², P. Scotti-Campos², C.M. Oliveira¹ & M.G. Palha²

¹LEAF, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Tapada da Ajuda 1349-017 Lisboa, Portugal

²Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I.P., UEIS-SAFSV/UEIS-BRG, Av. da República, Quinta do Marquês, 2784-505 Oeiras, Portugal

Resumo

Durante o crescimento e desenvolvimento das plantas, fatores ambientais como a radiação solar e a temperatura podem ser limitantes no período outono-inverno quando a intensidade luminosa e a temperatura são mais baixas, afetando a atividade fotossintética e a produtividade. Um acréscimo de luz, através do uso de lâmpadas LED (*light-emitting diodes*), pode minimizar os impactos negativos para a fisiologia da planta em condições menos favoráveis de luminosidade, nomeadamente em zonas temperadas (dias curtos). São poucos os estudos efetuados para avaliar a influência do fator luz no comportamento do morangueiro em termos de eficiência fotossintética e nos diferentes componentes da produção, nas condições ambientais portuguesas. Neste sentido, foram avaliados alguns parâmetros fisiológicos e a produtividade de oito cultivares de morangueiro ('Albión', 'Camarosa', 'Liberty', 'Merced', 'Rabida', 'Reliance', 'San Andreas' e 'Splendor') sujeitas a dois tratamentos de luz (com e sem lâmpadas LED) e conduzidas em dois tipos de substrato [fibra de coco (Coco) e mistura de casca de pinheiro compostada, turfa e fibra de coco (M1)]. O ensaio decorreu no complexo de estufas do INIAV, I.P., em Oeiras e a programação da luz foi diária com início em novembro até ao final de fevereiro. O comportamento fisiológico das plantas foi avaliado em duas fases: floração e plena frutificação. Durante a floração, na maioria dos casos, as plantas sujeitas à luz LED apresentaram maiores valores da taxa fotossintética líquida (P_n) e menores valores de transpiração (E) em relação ao controlo. Este efeito variou entre cultivares e substrato. Na fase de plena frutificação (já sem o tratamento de luz), os valores de P_n foram mais baixos, com diferenças entre cultivares e modalidades de substrato. O teor de clorofilas (SPAD) variou apenas em função da cultivar ($p < 0,05$), nas duas fases de avaliação. Um suplemento de luz durante o outono não influenciou a produtividade das cultivares. A produtividade das plantas conduzidas em substrato Coco foi, em média, 23% superior à das plantas em substrato M1. A maior produtividade ocorreu nas cvs. Rabida, Camarosa e San Andreas. Estes resultados sugerem que o desempenho fotossintético e a produtividade da *Fragaria* × *ananassa* estão mais dependentes do genótipo e do substrato do que da luz adicional. Contudo, um suplemento de luz em condições limitantes de radiação pode contribuir para um melhor desempenho fotossintético das plantas de morangueiro.

Palavras-chave: morangueiro, cultivares, fotossíntese, clorofila, produtividade.

Abstract**Effect of supplemental LED lighting on photosynthetic activity and yield of *Fragaria ×ananassa* in substrate cultivation**

During plant growth and development, environmental factors such as solar radiation and temperature may be limiting in the fall-winter period when light intensity and temperature are lower, affecting photosynthetic activity and productivity. Increasing light intensities with supplemental illumination in greenhouse crops can minimize negative impacts on plant physiology, especially in temperate zones (short days). There are few studies on the influence of the light factor on strawberry behavior in terms of photosynthesis efficiency and yield components under Portuguese forced systems cultivation. Therefore, the main objective of this study was to evaluate the response of eight strawberry cultivars ('Albion', 'Camarosa', 'Liberty', 'Merced', 'Rabida', 'Reliance', 'San Andreas' and 'Splendor') to two lighting regimes (with and without LED light) and to two types of commercial substrate (Coco – 100% coconut fiber and M1 - 40% pine bark + 40% peat + 20% coconut-fiber). LED lighting (LED 18W) was applied daily from November to February. The trial was conducted in a glasshouse. Photosynthetic parameters (leaf gas exchange and chlorophyll content) were measured at flowering and fruiting stage and productivity (early and total fruit yield) along the fruiting cycle. In the majority of the cases, during flower stage plants subjected to LED light presented higher values of net photosynthetic rate (P_n) and lower values of transpiration (E) compared to control plants. This effect varied between cultivars and substrate. During fruit production (without light treatment), P_n values were lower, with major differences between cultivars. Chlorophyll content (SPAD) differed among cultivars. A light supplement during the fall did not influence the productivity of the cultivars. The productivity of the plants conducted on Coco substrate was, on average, 23% higher than the plants in substrate M1. The highest productivity occurred in 'Rabida', 'Camarosa' and 'San Andreas'. These findings suggest that under Portuguese glasshouse cultivation, *Fragaria ×ananassa* photosynthetic activity and yield performance relied more on genotype and substrate type than on additional light. However, a supplemental illumination during growth periods with lower light levels may contribute to a better photosynthetic plant performance.

Keywords: strawberry, cultivars, photosynthesis, chlorophyll, yield.

Introdução

Fragaria ×ananassa é um híbrido octoplóide que deu origem à maior parte das variedades de morangueiro cultivadas nas várias regiões produtoras no mundo. As variedades comerciais (cultivares) são de adaptação microclimática, apresentando um melhor desempenho em meios agroambientais semelhantes aos meios onde foram seleccionados (López-Aranda, 2008). A adaptação morfológica e fisiológica a outros meios é expressa pela interacção genótipo x ambiente.

Devido à crescente competitividade no setor do morango tem-se verificado grandes mudanças nas tecnologias de produção de morango. Os produtores têm recorrido à produção do fruto em cultura sem solo (substrato e NGS) em estufa para aumentar a precocidade e a produtividade. No entanto, no período de outono-inverno alguns fatores ambientais como a intensidade luminosa e a temperatura podem ser limitantes, afetando a atividade fotossintética e a produtividade da planta (Oda, 1997; Li et al. 2012). Um

acréscimo de luz através do uso de lâmpadas tem demonstrado o efeito positivo na melhoria do crescimento e desenvolvimento da planta (Gottdenker et al., 2001; Folta & Childers, 2008; Palha & Oliveira, 2017).

Nas regiões situadas a maiores latitudes, a luz é considerada um dos fatores ambientais mais restritivos para o crescimento das plantas do morangueiro, pois a partir de setembro o fotoperíodo e a intensidade da luz decrescem influenciando diretamente a fotossíntese e a produtividade (Oda, 1997; Nestby & Trandem, 2013; Hidaka et al., 2013).

A tecnologia da iluminação artificial com recurso a lâmpadas (fluorescentes, vapor de sódio e LED – *light emitting diodes*) tem sido estudada em várias culturas, em torno de três variáveis da luz: qualidade (cor e comprimento de onda), quantidade (fluxo e frequência de fotões) e duração da luz (fotoperíodo). No seu conjunto estes três parâmetros influenciam a arquitectura da planta, o crescimento vegetativo e a floração, a atividade fotossintética das folhas e a produtividade (Takeda et al., 2008; Li et al. 2012; Hidaka et al., 2013).

A determinação das trocas gasosas (fotossíntese líquida, condutância estomática e transpiração) pode constituir uma importante ferramenta na avaliação de adaptação e estabilidade dos génotipos aos diferentes sistemas de produção existentes nas regiões produtoras de morango.

São poucos os estudos efetuados sobre a influência do fator luz na eficiência fotossintética do morangueiro nas regiões produtoras a sul da Europa com condições ambientais mais favoráveis e mais competitivas, onde se inclui Portugal. Assim, com este trabalho pretendeu-se avaliar alguns parâmetros fisiológicos e a produtividade da planta em diferentes génotipos de *Fragaria × ananassa* sujeitos a um suplemento de luz LED durante o período outono-inverno, na cultura em substrato.

Material e métodos

O estudo decorreu no *campus* de Oeiras do INIAV, I.P. (38° 41' N, 09° 19' W), num compartimento do complexo de estufas de vidro dividido em 2 setores, com (L1) e sem iluminação artificial (L0). O delineamento experimental de 3 fatorial (2x2x8) foi em *split-split plot* com 3 repetições, sendo o fator principal a iluminação LED, o subfactor substrato e subfactor cultivar, com 21 plantas por tratamento.

A iluminação, constituída por 35 projetores, foi feita com lâmpadas *Philips* Green power LED 18W (*flowering deep red/white*), com um fluxo de fotões de 22 $\mu\text{mol s}^{-1}$, e gerida pelo sistema automático de dados climáticos do complexo de estufas. A programação da luz foi diária (das 8:00h às 10:00h e das 16:00h às 18:00h) quando a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) era inferior a valores entre 150 e 200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, com início em novembro até ao final de fevereiro. Para a medição da radiação PAR utilizou-se um data logger colocado no setor L0. Utilizaram-se 2 substratos comerciais, Coco, constituído por fibra de coco, e M1, composto por casca de pinheiro compostada (40%), turfa (40%) e fibra de coco (20%), desenvolvido especialmente para o morango e testaram-se oito cultivares, Albión, Camarosa, Liberty, Merced, Rabida, Reliance, San Andreas e Splendor, fornecidas pela M.A.A.E. Empresa Agrícola Alfredo Mota, Lda. Plantas frescas foram cultivadas em sacos de polietileno preto com 150 μm de espessura, 1m de comprimento e 28L de volume, colocados sobre uma estrutura metálica com 1,5 m de altura. A plantação foi efetuada em linhas duplas, colocando as plantas de forma alternada, com compasso de 0,15 x 0,15 m nos sacos o que correspondeu a uma densidade

de plantação de 14 plantas/m² (7 plantas por metro linear). A fertirega foi diária e realizada de igual modo em todos os tratamentos, utilizando-se adubos líquidos nitrato de cálcio (8,6% N; 17% CaO), NPK (4% N; 8% P₂O₅; 12% K₂O) e micronutrientes. Os níveis de nutrientes e a condutividade elétrica foram ajustados ao longo do ciclo da planta, de acordo com Guérineau et al. (2003). A fertilização iniciou-se 15 dias após a plantação, com um sistema de rega gota-a-gota e programado para 5 a 7 regas por dia em função da percentagem dos drenados.

Os parâmetros das trocas gasosas das plantas foram avaliados na floração, (83 DAP), e em plena frutificação (184 DAP). As taxas da fotossíntese líquida aparente (P_n), da condutância estomática (g_s) e da transpiração (E) foram determinadas com um analisador portátil de gases por infravermelhos (IRGA, Infra Red Gas Analyser Li-Cor 6400, LiCor, Lincoln, USA) em sistema aberto, com uma câmara de 6 cm² e com sistema integral de luz LED azul-vermelho. As medições foram efetuadas no período da manhã (10:00-12:00h) em folhas adultas expandidas (9 plantas por tratamento) a uma irradiância de ca. 600-700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

O índice de SPAD foi determinado por um medidor portátil SPAD-502 (Minolta Camera Co, Osaka, Japan). Os valores de SPAD foram determinados nas mesmas folhas utilizadas para as determinações das trocas gasosas (folhas adultas). As leituras foram realizadas em três pontos distintos da face adaxial das folhas.

A produção total de frutos foi avaliada ao longo do ciclo de produção, de fevereiro a maio) através de colheitas bi-semanais (Pestana et al., 2016). A produção precoce corresponde à produção dos meses de fevereiro e março.

A análise de variância (ANOVA) foi realizada com recurso ao programa Statistix versão 9.0 (Tallahassee, Florida). Aplicou-se o teste de Tuckey ou LSD para comparação múltipla das médias com $\alpha=0,05$.

Resultados e discussão

Na floração (83 DAP), constatou-se que as plantas sujeitas à luz LED apresentaram maiores taxas de P_n (valor médio 13,6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e menores taxas de E (valor médio 2,1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em relação às plantas controlo (P_n média=12,4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e E média=2,6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Com luz adicional, a taxa fotossintética aumentou sobretudo nas cultivares ‘Albion’, ‘Merced’, ‘Rabida’ cultivadas nos 2 substratos e nas ‘Splendor’ e ‘Liberty’ cultivadas no substrato M1 (Fig 1). Resultados semelhantes foram obtidos por Hidaka et al. (2013), evidenciando, ainda, que o aumento da taxa fotossintética conduziu a maiores áreas foliares e pesos seco das folhas. Ao nível da condutância estomática, observaram-se algumas flutuações, mantendo-se em geral os valores médios elevados (ca. 230 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), não limitando o desempenho fotossintético. Entre cultivares verificou-se que os maiores valores de P_n ocorreram na ‘Camarosa’ (valor médio de 14,1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e os menores na ‘Rabida’ (valor médio 11,1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

De um modo geral, na fase de plena frutificação os valores de P_n decresceram, sendo similares nas plantas L0 e L1, respetivamente 11,2 e 11,5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A taxa fotossintética variou entre cultivares e tipo de substrato (Fig. 2). Apesar dos níveis crescentes de radiação solar a partir de março, esta fase coincidiu com dias em que as temperaturas máximas variaram entre 30-35 °C, o que pode ter conduzido a esta redução. Para Kadir et al. (2006) regimes de temperatura alta (40 °C dia/35 °C noite) contribuem mais para a redução da fotossíntese que as temperaturas moderadas ou baixas (30/25 ou

20/15 °C). Entre cultivares, os maiores valores de P_n ocorreram na ‘Merced’ e ‘Splendor’ (valor médio de $12,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) seguida da ‘Albion’, ‘Camarosa’, ‘Liberty’, ‘Reliance’ e ‘San Andreas’ (valor médio de $11,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). A cv. Rabida apresentou mais uma vez menor taxa de fotossíntese líquida (valor médio $9,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Embora tenha havido alterações no comportamento fisiológico (trocas gasosas) das plantas em relação à iluminação LED, substrato e cultivar, o teor de clorofilas (SPAD) variou apenas em função da cultivar ($p < 0,05$) nas duas fases de avaliação. Na floração, o teor de clorofilas foi menor na ‘Rabida’ ao contrário das outras cultivares em que os valores foram maiores e similares entre si (Fig. 3).

Em termos de produtividade, verificou-se que apesar do melhor desempenho fotossintético das plantas L1 no outono, a produção precoce foi maior nas plantas L0 (Quadro 1). Saliente-se que a produção precoce englobou a produção dos meses fevereiro (com iluminação adicional) e março (sem iluminação adicional) e que a produção de fevereiro representou apenas 4% da produção precoce. O substrato não influenciou a precocidade da produção das plantas mas a produção total. A produtividade das plantas conduzidas em substrato Coco foi, em média, 23% superior à das plantas em substrato M1, o que está de acordo com os resultados obtidos por Lisboa et al. (2016). A cv. Rabida revelou ser a mais precoce (232,3 g/planta) e a mais produtiva (1070,0 g/planta) entre genótipos. Apesar de apresentarem menores taxas de assimilação de CO_2 , as plantas desenvolveram maiores áreas foliares (dados não apresentados), verificando-se uma maior quantidade de CO_2 absorvida por planta e conduzindo, assim, a maior produtividade.

Nas regiões situadas a maiores latitudes, Hidaka et al. (2013) e Nestby & Trandem (2013) evidenciaram o efeito positivo da luz adicional com lâmpadas LED, 26W e 100 e 300W respetivamente, na produtividade do morangueiro onde referem que a luz foi mais limitante que a temperatura do ar. Neste ensaio, a produtividade média das cultivares foi de 656 g/planta, semelhante à obtida por Lisboa et al. (2016) para a cultura do morango em substrato, sugerindo que o fator luz pode não ter sido limitante para as condições de ensaio. Porém, para além da intensidade luminosa, a duração e a qualidade da luz (espectro) influenciam o desenvolvimento das plantas, pelo que em estudos posteriores será necessário ter em conta os dois últimos factores.

Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Alfredo Mota Lda. e à Tecniferti a oferta das plantas e dos fertilizantes líquidos respectivamente, para a realização do trabalho.

Conclusões

Para as condições de ensaio, em estufa de vidro e na cultura em substrato, os resultados demonstraram que o desempenho fotossintético e a produtividade da *Fragaria* × *ananassa* foram mais dependentes do genótipo e do substrato do que da luz adicional. Contudo, um suplemento de luz em condições limitantes de radiação (outono/inverno) poderá contribuir para um melhor desempenho fotossintético das plantas de morangueiro.

Referências

Folta, K.M. & Childers, K.S. 2008. Light as a Growth Regulator: Controlling Plant Biology with Narrow-bandwidth Solid-state Lighting Systems. HortScience 43 (7): 1957-1964.

- Gottdenker, J.S., Giacomelli, G.A. & Durner, E. 2001. Supplemental lighting strategy for greenhouse strawberry production (*Fragaria ×ananassa* Duch. Sweet charlie). *Acta Horticulturae* 559: 307-312.
- Guérineau, C., Bigey, J., Longuetterre, J., Navatel, J.C., Pommier, J.J. & Lacroix, C.R. 2003. La culture du fraisier sur substrat. Ctifl-Ciref, Paris, 165p.
- Hidaka, K., Kazuhiro, D., Imamura, H., Miyoshi, Y., Takayama, T., Sameshima, K., Kitano, M. & Okimura, M., 2013. Effect of supplemental lighting from different light sources on growth and yield of strawberry. *Environ. Control Biol.* 51: 41-47.
- Jun, H., Jung, H. & Imai, K. 2017. Gas exchange characteristics of a leading cultivar of Korean strawberry (*Fragaria ×ananassa*, 'Sulhyang'). *Scientia Horticulturae* 221:10-15.
- Kadir, S., Sidhu, G. & Al-Khatib, K. 2006. Strawberry (*Fragaria ×ananassa* Duch.) growth and productivity as affected by temperature. *HortScience* 41:1423-1430.
- Li, Y., Chen, H., Ji, H., Wang, S., Zhu Z. 2012. Effect of LED Supplemental Illumination on the Growth of Strawberry Plants. Symposium on Photonics and Optoelectronics (SOPO), Shangai, China. doi: 10.1109/SOPO.2012.6270919
- Lisboa, J., Palha, M.G & Oliveira, C.M. 2016. Influência do substrato na fenologia, na biometria e produtividade das cultivares de morangueiro Camarosa, Rábida, San Andreas e Portola. *Actas Portuguesas de Horticultura* 26: 19-28.
- López-Aranda, J.M. 2008. El cultivo de la fresa en Huelva. In: La fresa de Huelva. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, 105-176.
- Nestby, R. & Trandem, N. 2013. Supplemental LED growth light in remontant strawberry at high latitudes. *Journal of Berry Research* 3: 217-226.
- Oda Y. 1997. Effects of light intensity, CO₂ concentration and leaf temperature on gas exchange of strawberry plants –feasibility studies in CO₂ enrichment in Japanese conditions. *Acta Horticulturae* 439:563–573.
- Palha, M.G. & Oliveira, P.B. 2017. Melhoria da produtividade do morangueiro no período outono-inverno com recurso à temperatura e luz suplementar. *Actas de Horticultura do VI Congresso Ibérico de Ciências Hortícolas. (submetido)*
- Pestana, F., Palha, M.G. & Oliveira, C.M. 2016. Efeito da luz e do substrato na produtividade e qualidade do fruto de oito cultivares de morangueiro. V Colóquio Nacional da Produção de Pequenos Frutos, Programa e Livro de Resumos: 44.
- Takeda, F., Glenn D.M. & Stutte, G.W. 2008. Red light affects flowering under long days in a short-day strawberry cultivar. *HortScience* 43: 2245-2247.

Quadro 1. Efeito da luz (L1 e L0, com e sem luz), do substrato (M1 e Coco) e da cultivar na produção precoce (fevereiro + março) e total de frutos.

	Produção precoce	Produção total	
	(g/planta)	(g/planta)	kg m ⁻²
<i>LEDs</i>			
L0	124,1 a*	658,5 a	9,2 a
L1	96,4 b	652,7 a	9,2 a
<i>Prob.</i>	0,01	NS	NS
<i>Substrato</i>			
M1	101,3 a	587,8 b	8,2 b
Coco	119,3 a	723,3 a	10,1 a
<i>Prob.</i>	NS	<0,000	0,01
<i>Cultivar</i>			
Rábida	232,3 a	1070,0 a	14,9 a
Camarosa	127,3 bc	713,2 b	10,0 b
San			9,9 b
Andreas	187,9 ab	709,1 b	
Albion	83,6 cd	602,6 bc	8,4 bc
Reliance	67,1 cd	596,5 bc	8,4 bc
Liberty	93,1 cd	531,9 bc	7,4 bc
Merced	37,1 cd	524,0 bc	7,3 bc
Splendor	53,9 d	497,2 c	7,0 c
<i>Prob</i>	<0,000	<0,000	<0,000

*Letras diferentes em coluna indicam diferenças significativas (P <0,05) entre tratamentos.

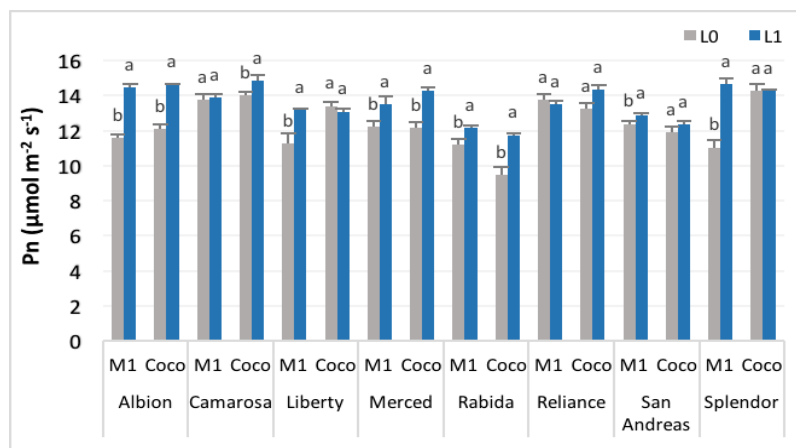


Figura 1 – Influência da luz LED na fotossíntese líquida (Pn) das cultivares de morangueiro cultivadas em substrato M1 e Coco, na floração. Cada barra representa a média de 9 determinações e as linhas verticais o erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas (P <0,05) entre L0 (sem luz LED) e L1 (com luz LED) para o mesmo tipo de substrato.

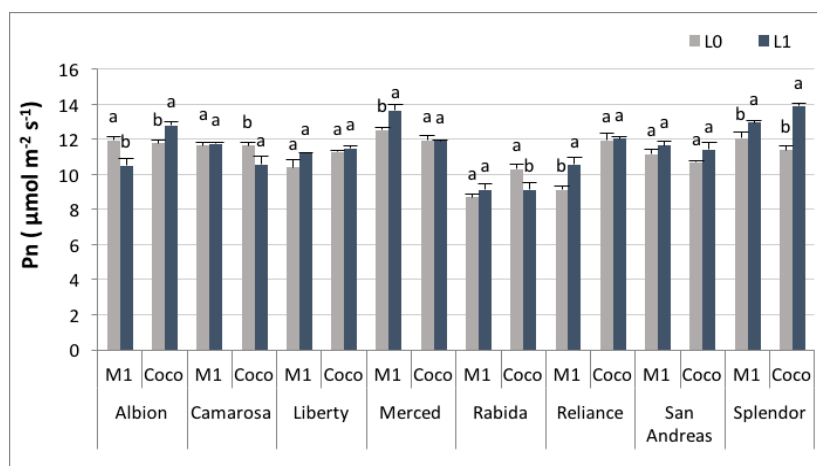


Figura 2 – Influência da luz LED na fotossíntese líquida (P_n) das cultivares de morangueiro cultivadas em substrato M1 e Coco, em plena frutificação. Cada barra representa a média de 9 determinações e as linhas verticais o erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre L0 (sem luz LED) e L1 (com luz LED) para o mesmo tipo de substrato.

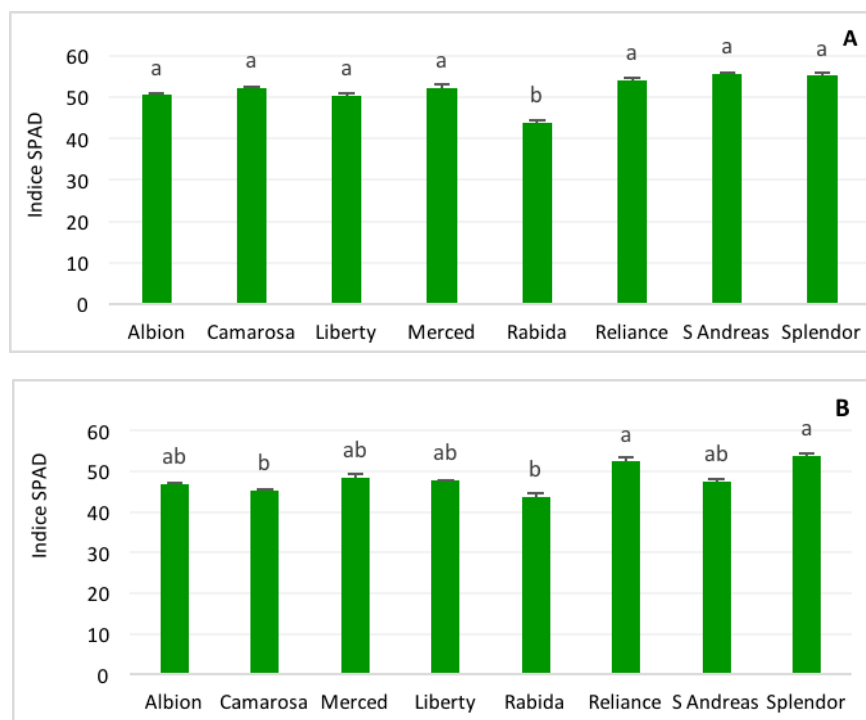


Figura 3 – Teor de clorofilas (Índice SPAD) das diferentes cultivares ensaiadas, na floração (A) e em plena frutificação (B). Cada barra representa a média de 9 determinações e as linhas verticais o erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($P < 0,05$) entre cultivares.